N

### **PCT**

# WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM Integnationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7:

G01R 31/307

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/10020

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum: 24. Februar 2000 (24.02.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/02380

(22) Internationales Anmeldedatum: 30. Juli 1999 (30.07.99)

(30) Prioritätsdaten: 198 37 490.9 12. August 1998 (12.08.98) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT (ODER) GMBH [DE/DE]; Walter-Korsing-Strasse 2, D-15230 Frankfurt an der Oder (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RAU, Wolf-Dieter [DE/DE]; Torellstrasse 4, D-10243 Berlin (DE).

(74) Anwalt: HEITSCH, Wolfgang; Göhlsdorfer Strasse 25g, D-14778 Jeserig (DE). (81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

#### Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: METHOD FOR MEASURING TWO-DIMENSIONAL POTENTIAL DISTRIBUTION IN CMOS SEMICONDUCTOR COMPONENTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR VERMESSUNG DER ZWEIDIMENSIONALEN POTENTIALVERTEILUNG IN CMOS-HALBLEITERBAUELEMENTEN

#### (57) Abstract

The invention relates to a method for measuring two-dimensional potential distribution in CMOS semiconductor components and determining two-dimensional doping distribution. The invention aims at providing a method for measuring two-dimensional potential distribution in CMOS semiconductor components and determining of two-dimensional doping distribution, wherein a direct image of two-dimensional doping distribution and two-dimensional potential distribution in a transmission electron microscope is made possible. According to the invention, said method is based on the use of electron holography, especially electron off-axis holography, in a transmission electron microscope. Electron holography enables two-dimensional measurement of the phases of the electron waves in a transmission electron microscope. The phase image is directly proportional to the potential distribution in the space charge area of the PN junctions in semiconductor structures.

### (57) Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung vorzuschlagen, bei dem eine direkte Abbildung der zweidimensionalen Dotierverteilung und der zweidimensionalen Potentialverteilung im Transmissionselektronenmikroskop ermöglicht wird. Erfindungsgemässes Verfahren basiert auf der Anwendung der Elektronenholographie, insbesondere der Elektronen-Off-Axis Holographie, im Transmissionselektronenmikroskop. Die

Elektronenholographie erlaubt die zweidimensionale Vermessung der Phase der Elektronenwelle im Transmissionselektronenmikroskop. Das Phasenbild ist direkt proportional zur Potentialverteilung in der Raumladungszone von pn-Übergängen in Halbleiterstrukturen.

#### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
ΑÜ	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
ΑZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	ТJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland		Republik Mazedonien	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		Amerika
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	NZ	Neuseeland	zw	Zimbabwe
CM	Kamerun		Korea	PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumānien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

WO 00/10020 PCT/DE99/02380

5 Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung.

10

15

20

Moderne Halbleiterbauelementstrukturen im Submikrometerbereich erfordern das Einbringen und die Manipulation von Dotierelementen in Silizium-Halbleiterbauelemente mit lateraler und vertikaler Genauigkeit im nm-Bereich. Die zweidimensionale Bestimmung solcher Dotierprofile an realen Bauelementen mit einer Ortsauflösung in dieser Größenordnung ist von hoher Bedeutung zur Optimierung von physikalischen Modellen zur numerischen Simulation der komplexen Herstellungsprozesse und zur Fehleranalyse in real prozessierten Bauelementen. Bisher ist kein Verfahren bekannt, welches eine direkte Abbildung solcher zweidimensionaler Dotierprofile im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) ermöglicht. Die US 5,523,700 beinhaltet ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung des Dotierprofils unter Nutzung der lokalen Kapazitätsänderungen an der Oberfläche eines Halbleitermaterials. Die gemessene Dotierverteilung an der Probenoberfläche ist aufgrund von z.B. Präparationsartefakten oder Oberflächensegregation oft nicht repräsentativ für die Verhältnisse im Festkörper. Um eine lokale Kapazitätsänderung als Dotierverteilung zu

WO 00/10020 PCT/DE99/02380

quantifizieren, muß eine Modellierung der lokalen Kapazität erfolgen. Dies erfordert jedoch umfangreiche elektrische Simulationen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung vorzuschlagen, bei dem eine direkte Abbildung der zweidimensionalen Dotierverteilung und der zweidimensionalen Potentialverteilung im Transmissionselektronenmikroskop ermöglicht wird.

Erfindungsgemäßes Verfahren basiert auf der Anwendung der Elektronenholographie, insbesondere der Elektronen-Off-Axis Holographie, im Transmissionselektronenmikroskop. Die Elektronenholographie erlaubt die zweidimensionale Vermessung der Phase der Elektronenwelle im Transmissionselektronenmikroskop. Das Phasenbild ist direkt proportional zur Potentialverteilung in der Raumladungszone von pn-Übergängen in Halbleiterstrukturen.

Die Potentialverteilung wird mit Hilfe der Elektronenholographie gemessen.

Erfindungsgemäßes Verfahren basiert auf den Verfahrensschritten:

- Erzeugung einer ebenen Elektronenwelle,

20

- Modulation der ebenen Elektronenwelle infolge Durchgang durch eine gedünnte Querschnittsprobe des Halbleiterbauelements,
- Vergrößerung der modulierten Bildwelle mittels einer Objektivlinse.
- Überlagerung der vergrößerten Bildwelle und einer ebenen Referenzwelle mittels Elektronenbiprisma,

WO 00/10020 PCT/DE99/02380

- Registrierung des erzeugten Elektronenhologramms mittels digitaler CCD-Kamera, Photoplatten oder anderer Detektorsysteme,

- Extrahierung der Phase der Bildwelle mittels Fourieranalyse und
- Messung der zweidimensionalen Potentialverteilung aus dem Phasenbild.

Durch Vergleich mit numerischen Simulationen des Herstellungsprozesses werden die zweidimensionale Dotierverteilung in CMOS-Strukturen, insbesondere CMOS-Transistorstrukturen, bestimmt und/oder physikalische Modelle für die Simulation des Herstellungsprozesses optimiert.

10

15

20

25

5

Die Merkmale der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher erläutert.

Fig. 1 zeigt das Prinzip der elektronenholographischen Bestimmung der Potentialverteilung. Zuerst erfolgt die Präparation einer gedünnten Querschnittsprobe. Diese muß mit einer Zielpräparation so hergestellt werden, daß in unmittelbarer Umgebung von ca. 100 nm bis 500 nm des zu untersuchenden Transistors ein "Loch" für die benötigte ebene Referenzwelle 6, welche nicht durch die Probe geführt werden darf, entsteht. Die Probendicke in der Gegend des zu untersuchenden Transistors sollte innerhalb eines optimalen Bereichs zwischen 50 nm und 500 nm liegen. Eine ebene Elektronenwelle 1 im TEM wird beim Durchgang durch eine gedünnte Querschnittsprobe des pn-Übergangs eines CMOS-Transistors 2 durch die Potentialverteilung in der Phase moduliert. Die durch eine Objektivlinse vergrößerte modulierte Bildwelle 3 wird mit Hilfe eines Elektronenbiprismas 4 mit einer ebenen Referenzwelle 6 überlagert. Das erzeugte WO 00/10020 4 PCT/DE99/02380

Elektronenhologramm 7 wird mittels digitaler CCD-Kamera registriert. Durch Fourieranalyse werden Amplitude und Phase der Bildwelle 3 extrahiert. Aus dem Phasenbild wird die zweidimensionale Potentialverteilung gemessen. Das Phasenbild ist direkt proportional zur Potentialverteilung. Eine Kombination von Amplituden- und Phasenbild erlaubt zusätzlich eine lokale Bestimmung der Probendicke.

Die anschließende Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung erfolgt durch eine Anpassung der durch die Dotierverteilung erzeugten Potentialverteilung an die mit der Elektronenholographie gemessene Potentialverteilung. Dazu werden numerische Simulationen des der Dotierverteilung entsprechenden Potentials verwendet.

10

15

5

In der vorliegenden Erfindung wurde anhand eines konkreten Ausführungsbeispiels ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung erläutert. Es sei aber vermerkt, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Beschreibung im Ausführungsbeispiel eingeschränkt ist, da im Rahmen der Patentansprüche Änderungen und Abwandlungen beansprucht werden.

#### Patentansprüche

Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOSHalbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung

dadurch gekennzeichnet, daß mittels Elektronenholographie die Phase einer

Elektronenwelle im Transmissionselektronenmikroskop vermessen wird, wobei die

minimale laterale Auflösung im nm-Bereich liegt.

10

15

- 2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte
  - Erzeugung einer ebenen Elektronenwelle (1),
  - Modulation der ebenen Elektronenwelle (1) infolge Durchgang durch eine gedünnte Querschnittsprobe des Halbleiterbauelements,
  - Vergrößerung der modulierten Bildwelle (3) mittels einer Objektivlinse (5),
  - Überlagerung der vergrößerten Bildwelle (3) und einer ebenen Referenzwelle (6) mittels Elektronenbiprisma (4),
  - Registrierung des erzeugten Elektronenhologramms (7),
  - Extrahierung der Phase der Bildwelle (3) mittels Fourieranalyse und
- Messung der zweidimensionalen Potentialverteilung aus dem Phasenbild.

PCT/DE99/02380

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweidimensionale Dotierverteilung durch Anpassung an die gemessene Potentialverteilung aufgrund numerischer Simulationen des Herstellungsprozesses erfolgt.

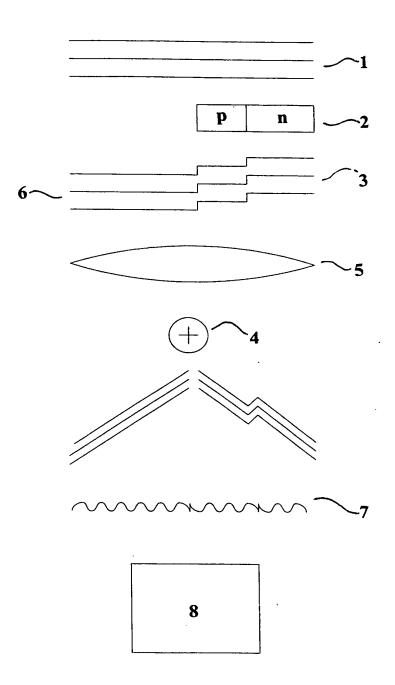


Fig. 1

This Page Blank (uspto)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intel onal Application No PCT/DE 99/02380

C			101/02 33/	- GE 300
IPC 7	IFICATION OF SUBJECT MATTER G01R31/307			
-	o International Patent Classification (IPC) or to both national classifica	ation and IPC		;
	SEARCHED			
IPC /	ocumentation searched (classification system followed by classification $G01R$			
	tion searched other than minimum documentation to the extent that s			
	tata base consulted during the international search (name of data ba	se and, where practical,	search terms used	
	ENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT			
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the rele	evant passages		Relevant to claim No.
Α.	US 5 523 700 A (WILLIAMS) 4 June 1996 (1996-06-04) cited in the application figure 1			1
A	WO 98 12544 A (MILANI ET AL.) 26 March 1998 (1998-03-26) see abstract			1
Furti	her documents are listed in the continuation of box C.	X Patent family	nembers are listed	in annex.
"A" docume consid "E" earlier of filing d "L" docume which citation "O" docume other of the reference of the	ent which may throw doubts on priority claim(s) or is cited to establish the publication date of another n or other special reason (as specified) ent referring to an oral disclosure, use, exhibition or	cited to understand invention  "X" document of particu cannot be conside involve an inventiv  "Y" document of particu cannot be conside document is comb	I not in conflict with d the principle or the dar relevance; the c red novel or cannot e step when the do lar relevance; the c red to involve an in- ined with one or mo ination being obviou	the application but ory underlying the  laimed invention be considered to cument is taken alone laimed invention rentive step when the re other such docu— is to a person skilled
	actual completion of the international search	Date of mailing of t	he international sea	rch report
	February 2000	08/02/2	000	
Name and n	nailing address of the ISA  European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  NL - 2280 HV Rijswijk  Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo ni,	Authorized officer		
	Fax: (+31-70) 340-3016	Hoornae	rt, W	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inter July Application No PCT/DE 99/02380

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5523700	Α	04-06-1996	NONE	
WO 9812544	Α	26-03-1998	IT VA960018 A CN 1231727 A EP 0927349 A	23-03-1998 13-10-1999 07-07-1999

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte .onales Aktenzeichen

	·		DE 99/02380
A. KLASSI IPK 7	FIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES G01R31/307		
Nach der Int	ternationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klas	sitikation und der IPK	
	RCHIERTE GEBIETE	Sinkatori dila dei ti K	
Recherchier	ter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbo	le)	
IPK 7	G01R		
Recherchier	rte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, so	weit diese unter die recherchiert	en Gebiete fallen
144			
Wanrend de	er internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (N	ame der Datenbank und evtl. ve	rwendete Suchbegriffe)
C. ALS WE	SENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe	e der in Betracht kommenden Te	ile Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 523 700 A (WILLIAMS) 4. Juni 1996 (1996-06-04) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 1		1
A	WO 98 12544 A (MILANI ET AL.) 26. März 1998 (1998-03-26)		1
	siehe Zusammenfassung		
		•	
Weit	ere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu ehmen	X Siehe Anhang Patentfa	milie
	Attegorien von angegebenen Veröffentlichungen	"T" Spätere Veröffentlichung, die	nach dem internationalen Anmeldedatum eröffentlicht worden ist und mit der
abern	ntlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, icht als besonders bedeutsam anzusehen ist Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen	Anmeldung nicht kollidiert, s Erfindung zugrundeliegende	sondern nur zum Verständnis des der en Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden
Anmel	dedatum veröffentlicht worden ist	Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besond	erer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
	en zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer en im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden ler die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie		Veröffentlichung nicht als neu oder auf ihend betrachtet werden
ausgel	führt)	variations are an equipments	erer Bedeutung; die beanspruchte Enindung cher Tätigkeit beruhend betrachtet lichung mit einer oder mehreren anderen
I еіле В	ntlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, enutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		ategorie in Verbindung gebracht wird und
dem b		"&" Veröffentlichung, die Mitglied	
Daium des	Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internat	ionalen Recherchenberichts
<u> </u>	. Februar 2000	08/02/2000	
Name und f	Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk	Bevollmächtigter Bedienste	ter
	Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo ni, Fax: (+31-70) 340-3016	Hoornaert, 1	N N

### INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter nales Aktenzeichen PCT/DE 99/02380

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
US 5523700 A	04-06-1996	KEINE	<u> </u>	
WO 9812544 A	26-03-1998	IT VA960018 A CN 1231727 A EP 0927349 A	23-03-1998 13-10-1999 07-07-1999	

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie)(Juli 1992)